

Title	エントロピー原理に基づくリバウンド効果推定手法の提案
Author(s)	本堂, 義行; 小林, 英樹
Citation	日本LCA学会誌. 5(1) p.122-p.130
Issue Date	2009-01
oaire:version	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/85127
rights	© 2009 日本LCA学会
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

研究論文

エントロピー原理に基づくリバウンド効果推定手法の提案

本堂 義行・小林 英樹

An estimation method of rebound effect based on entropy principle

Yoshiyuki HONDO and Hideki KOBAYASHI

Synopsis:

Objective. Recently, “sustainable production and consumption” has been advocated. It is an approach from not only the perspective of “sustainable production”, which has already been employed, but also from the perspective of consumption with a view to achieving sustainability. The “rebound effect” is discussed from the perspective of “sustainable consumption”. In General, rebound effect means secondary environmental load derived from efficiency improvement. Several types of rebound effect have been reported. For instance, when a new goods or service generate surplus time and cost, they might be spent on the other action that brings about large environmental load. According to Greening (2000), such type of rebound effect is called “indirect rebound effect”. In this paper, we propose a new method of estimating the indirect rebound effect that utilizes a consumer behavior model and embodied intensity data of behavior. This mathematical model is based on the entropy principle from the field of information theory. The model calculates the every day life pattern of a target group on the basis of statistical data on behavior when an event brings about the rebound effect under time and budget constraints. The environmental load resulting from change in behavior can be estimated.

Results and Discussion. The subject of our case study is teleworking and the rebound effect for the time generated by telecommuting was presumed. The case study reflects the fact that the change in life behavior pattern attributable to telecommuting leads to a reduction in CO₂ emissions as a result of the estimation even if the rebound effect attributable to telework is taken into account. There is an advantage in that the behavior of the target group can be represented on the basis of statistical data, although the proposed model has a limitation in that only the rebound effect under constraints of time and cost is considered.

Conclusions. This paper proposed a new method of estimating the rebound effect and its usefulness was shown by the results of the case study of telework. By using this method, the rebound effect caused by life behavior pattern change of the target group can be estimated without questionnaire or utility function. We intend to extend this method so as to evaluate various situations in the future.

Keywords: Sustainable consumption; rebound effect; consumer behavior; entropy optimization principle; teleworking

1. はじめに

「持続可能な生産と消費」¹⁾ は、地球温暖化や資源枯渇、エネルギーなどの地球的規模の問題を解決するためのコンセプトとして近年重要視されてきている。これまで、産業界では「持続可能な生産」を目指して、環境効率、つまり単位環境負荷あたりの価値を向上した製品・サービスのエコデザイン²⁾ や、生産の現場における省エネルギー、

廃棄物削減などを行ってきた。しかし、持続可能な社会の構築には未だ不十分な面がある。その背景には消費者のライフスタイルの変化、例えば、家電製品が一家に一台から、一人に一台に行き渡るような、家電の個人所有化の進行や、単身生活者、夜型生活者の増加といった生活の多様化がある。持続可能な社会を目指すためには、生産側だけでなく、消費側も持続可能な形に移行する必要がある。

「持続可能な消費」の議論の中で、リバウンド効果 (Rebound effect) の概念が注目されている。リバウンド効果には多種多様な定義がなされている状況だが、一般的には、何らかの効率改善を要因として、二次的に発生する副作用 (環境負荷) のことを指す場合が多い。例えば、エネルギーや資源の効率が大幅に改善された製品・サービスを導入するような場合を考えると、効率改善によって、時間や所得に余剰が発生する可能性がある。この余剰が、環境負荷を増大させる他の行動に費やされることで、導入した製品・サービスで減少するはずの環境負荷が増加してしまう場合がある。この種の効果は、Greeningの分類³⁾によると、間接リバウンド効果 (indirect rebound effect) と定義されている。本研究では、製品・サービスの価格変化によってそれ自体の消費量が変化する直接リバウンド効果 (direct rebound effect) や、社会構造の変化によって起こるような経済リバウンド効果 (economy-wide rebound effect) については対象外とする。

本研究の目的は、新たな製品・サービスが導入され、人々の行動パターンに変化が生じた場合に、それによって発生する余剰時間及び余剰所得に関する間接リバウンド効果を推定する手法を提案することにある。提案手法は、生活習慣及び課せられた様々な制約条件の下に、人間が自由行動するという考え方に基づいている点に特徴がある。

2. 既存研究の概観と本研究の着眼点

間接リバウンド効果を推定するにあたっては、行動そのものに起因する環境負荷 (例: 自動車で移動することによるCO₂排出量) の定量化という点と、消費者による行動選択という点を考える必要がある。前者に関しては、Jalas⁴⁾が時間に関するリバウンド効果という観点で、家庭における行動の単位時間あたりのエネルギー消費を算出している。余剰時間に対して、単位時間あたりのエネルギー消費が大きな行動 (例えば自動車で買い物に行くなど) を短時間でも選択してしまうと、リバウンド効果が起こりやすいと指摘している。また行動あたりのCO₂排出量をアンケートデータや様々な統計資料を用いてモデル化し、推定した事例も報告されている⁵⁾。これは行動による環境負荷の積み上げ原単位とも呼べるものであり、本研究でも、同様の行動原単位を算出して用いる。

後者に関しては、テレビ会議の導入時に発生する余剰時間に行う行動をアンケートから推定した事例がある⁶⁾。この手法では、都度アンケートが必要になるという課題が存在している。また、高瀬ら⁷⁾は、時間制約と所得制約の下での効用最大化原理に基づく消費者行動モデルを提案している。ミクロ経済学の立場では、消費者は効用を最大化するように行動する、と仮定しているが、一方で人間は限

定合理的に行動するとも指摘されている^{8,9)}。また、マーケティングの分野では、消費者の商品の選択過程をモデル化する研究も報告¹⁰⁾されているが、そこでは消費者行動は個人のパーソナリティに大きく依存するものとして据えられている。本研究ではそれらの状況を踏まえ、情報理論の立場から、エントロピー原理に基づく消費者行動推定モデルを提案する。提案するモデルの最大の特徴は、人間行動の捉え方にある。それは端的には、「人間の生活習慣」と、「生活における制約条件」を基にしていると言い表すことができる。筆者らは、人間が普段の生活習慣と、時間や費用の制約条件の範囲で最大限の自由行動を行うと仮定している。エントロピー原理に基づくモデルはその仮定に即したものになっている。提案モデルの利点は、1) 効用関数を導入しなくても行動パターンの推定が可能である点と、2) 統計データとして整備されている多様な生活習慣データを容易に活用できる点にある。

3. 提案手法

3.1 リバウンド効果推定の手順

提案手法の説明に際し、必要な概念の定義を行う。本研究では、行動パターンを、それぞれの行動へ費やす時間の比率であると扱う。後述する消費者行動モデルでは、この比率を行動発生確率とみなす。さらに、効率改善による直接的な影響を、主効果と定義する。言い換えると、主効果とは、「大幅に改善された製品・サービスの導入によるCO₂削減量」である。主効果は、具体的には「テレビ会議の導入による移動行動の削減」や「自動車から鉄道へのモータールシフトによる移動手段比率の変化」によるCO₂削減量などが相当する。上述のような定義付けの中で、シナリオとは、主効果の要因となるような行動パターンの変化を指す。本研究では、シナリオによって発生した余剰時間及び所得にのみ起因する間接的なCO₂排出量をリバウンド効果と定義する。

本研究におけるリバウンド効果推定の手順について図1を用いて説明する。まずシナリオの入力を行う (図1a)。続いて、シナリオの条件をモデルに適用可能な形である制約条件式として表現し、また、対象とする集団に対する初期データの設定を行う (図1b)。シナリオによる変化前の行動パターンの設定には、社会生活基本調査¹¹⁾などの統計資料から参照した行動統計データを用いる。これらの詳細はケーススタディと併せて後述する。その後、シナリオによって変化する行動パターンを、後述する消費者行動モデルを用いて推定する (図1c)。この結果、シナリオによる変化後の行動パターンが発生確率として算出される。行動パターンは時間比で記述されるため、この時間比に計算期間を乗じれば、それぞれの行動に費やす時間を算出できる。

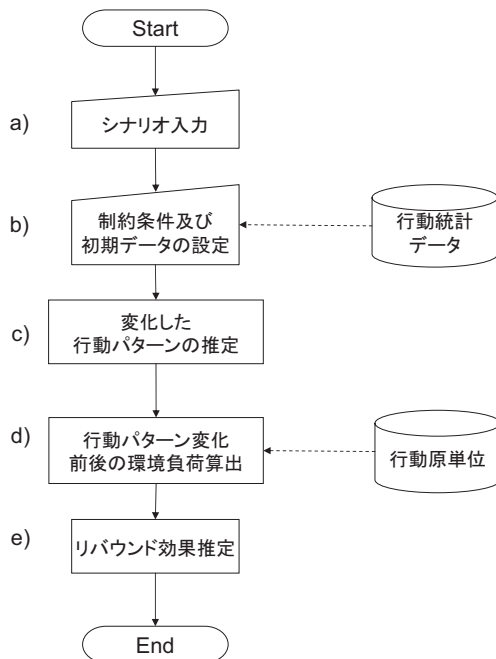


図1 リバウンド効果推定の手順

例えば、食事行動の比率が6.47%であれば、年間の行動時間は $365 \times 24 \times 0.0647 = 566.77$ 時間となる。行動原単位という行動の単位時間あたりのCO₂排出量データに行動原単位を掛け合わせるによって、行動パターンのCO₂排出量を算出する。

3.2 エントロピー原理に基づく消費者行動モデル

社会現象における無秩序性を説明する場合に、熱力学の第二法則におけるように、エントロピーが増大するという表現がなされることがある¹²⁾。本研究で提案するモデルは「社会現象のエントロピーは増大するものである」との原則を仮定し、基本原理として、情報理論の立場からエントロピー原理を適用する。

提案モデルは、確率分布の形で表現された行動パターンと、費用及び時間の制約を表現した制約式、そして確率分布の距離に関して最適化を行う目的関数から成っている。以下に詳細に説明を加える。

提案モデルでは、前節で述べたように、各行動の行動時間比率を行動発生確率として扱っている。この行動発生確率は、睡眠、食事、通勤など日常生活の累積行動時間から算出するものである。本研究では、各行動の行動発生確率を行動確率分布として取り扱う。なお、扱う行動分類に関しては、生活における全ての行動が、その分類の何れかに該当するように定める。本研究では、社会生活基本調査による行動分類（20種類）を用いる。

特定集団に対する行動確率分布は、当該集団の行動パターンを表している。例えば文献¹¹⁾では、国民全体といった大きな集団から、年代、地域、性別、就業の有無、天候

などといった多属性に渡ってセグメント分けされた細かい行動統計データを得ることができ、本モデルへの適用が可能である。このような生活行動の統計データを集団の生活習慣データとして扱えることは、提案モデルの利点の一つである。

提案モデルで行う消費者行動の推定問題は、シナリオに基づいた条件を用いて新しい行動確率分布を算出することにあたる。まず、シナリオによって、ある行動の発生確率だけが変化するという形で、推定すべき行動確率分布の一部を与える。これは一つ、あるいは複数の行動確率を与えることを意味する。その際にシナリオに基づく形で、対象集団の費用や時間の制約条件を与え、残りの部分の行動確率分布を推定し、これをシナリオによる行動変化後の対象集団の行動パターンとして見なす。

推定方法の実際については数式（1）～（9）として以下に示す。

$$\hat{p} = \{p | \min D(p, q)\} \quad (1)$$

$$D(p, q) = \sum_{i=1}^n p_i \log \frac{p_i}{q_i} \quad (2)$$

$$= -\left(\sum_{i=1}^n p_i \log p_i\right) - \sum_{i=1}^n p_i \log q_i \quad (3)$$

where $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$

$q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i = 1 \quad (5)$$

$$0 \leq q_i \leq 1 \quad (6)$$

$$0 \leq p_i \leq 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{a_i} p_i = \frac{C}{T} \quad (8)$$

$$p_i = t_i \quad (i = 1, \dots, k) \quad (9)$$

（1）式中の q は従来の行動パターンを表す確率分布（先験行動確率分布）である。 P はシナリオに基づいて変化した後の行動パターンを表す行動確率分布であり、 \hat{p} はエントロピーモデルを用いて推定した P （推定行動確率分布）である。 a_i は行動 i のために消費される時間、 b_i は行動 i によって消費される費用を表す。また、 C/T は時間 T あたりにかける費用 C を指す。（8）式は単位時間あたりに使える各行動への消費金額の和を表しており、所得と時間の制約式になっている。また、シナリオによって定められた推定行動確率分布の一部は（9）式のように表現する（ t_i は予め定める行動確率）。 $a_i, b_i, C/T, t_i$ は制約条件を構成する定数であり、シナリオの条件を詳細化することによって与えられる。

（2）式の目的関数は、情報理論においてKullback-Leibler divergence¹²⁾（以下KL距離と記す）と呼ばれる尺度である。提案モデルでは、直観的には先験行動確率分

布と推定行動確率分布の距離を、変化前後の行動パターンの類似度と対応付け、(4)～(9)式の制約条件の下で、行動パターンを決定するものである。また、別な見方をすると、(2)式を展開した(3)式の第一項は推定行動確率分布に関するエントロピーの符号を反転した量である。(3)式中で、エントロピーの部分の増大はKL距離の減少に結びついており、制約条件下でエントロピーが増大する方向へ行動パターンを変化させていることになる。これは、提案モデルにおいて筆者らが仮定した、行動パターンの変化に関して、“対象集団は行動の変化の前後で、従来の生活習慣を基に制約下で自由に振舞う”ということを表している。また、エントロピーモデルを用いた確率分布の推定は、現状で判明している情報を用いて、そこからより尤もらしい確率分布を再構成する、ということに等しく、行動統計データに含まれる不確実性も加味して新たな行動確率が推定されているともいえる。

4. ケーススタディ

4.1 評価対象とバウンダリ

本研究では、ケーススタディとして、テレワークを扱う。テレワークとは、勤務形態の一種で、ICT (Information and Communication Technology) を用い、時間や場所に制約されることなく柔軟に仕事をする働き方を指す。ICTを用いたシステムには、本質的特徴として、効率化のため、時間や費用が節約されるという面があり¹³⁾、それらの節約された時間や費用が引き起こすリバウンド効果を推定した。

テレワークには表1のように、自宅で行う在宅勤務や、モバイル勤務、自社など就業形態別の分類が存在する。本研究では、テレワークの拡大によって在宅勤務者、とくに就業時間中心型が増加した場合のリバウンド効果の定量化を行う。

総務省は、2012年のテレワーカー（テレワーク勤務者）を1620万人と推定し、移動行動の削減により年間630,000tのCO₂が削減されるとしている¹⁴⁾。この結果は、テレワークの拡大における移動行動の減少や、ネットワークなどのインフラやPCの利用などを考慮しているものであり、テレワークにより、テレワーカーの自由行動時間が増加することによる他の行動からのCO₂排出量は一切考慮していない。そこで、上記削減効果を本ケーススタディの主効果と位置づけ、提案手法により、テレワークによるリバウンド効果を見積もる。

テレワークに関するシナリオは以下のように設定した。まず、テレワーカーの人口は、文献¹⁴⁾の1620万人を用いる。文献中にはテレワーカーのテレワーク形態・頻度別の推計は存在しないため、その割合は国土交通省の報告書¹⁵⁾に記載されている2002年のテレワーク頻度の比率を用いて配分する。比率に関しては文献¹⁵⁾の中で、テレワークを一週間の間に行う日数を頻度としており、本研究でもその頻度を用いた。また、本研究ではテレワーカーの中でも、就業時間に在宅勤務を行う者を対象とし、それ以外のテレワーカーは除いた。また、自営型のテレワーカーに関しては考慮の対象外とした。表2に、上記を踏まえた本ケーススタディにおける在宅勤務者数の設定を示す。

表2 就業時間中心型テレワーカーの人口設定

在宅勤務頻度	設定する在宅勤務者数(人)
週4日 (年間延べ192日)	1,190,729
週3日 (年間延べ144日)	512,466
週2日 (年間延べ96日)	512,466
週1日 (年間延べ48日)	2,808,513
在宅勤務者総数 (就業時間中心型)	5,024,174

表1 テレワークの形態

形態	テレワーク実施場所	勤務時間による内訳	勤務時間帯
在宅勤務	自宅	就業時間中心型	主に9時～18時とその前後の時間のテレワーク
		早朝夜間(残業)型	9時～18時以外のテレワーク
モバイル勤務	移動中(モバイルワーク、出張中も含む)		設定なし
通常の勤務場所以外の自社の他事業所・その他	自社の他事業所、顧客先(事務所、開発や作業の現場など)、その他		設定なし

←本ケーススタディの対象

4.2 制約条件の設定

ケーススタディでは、社会全体への影響を見るため、テレワーカーのみの行動の変化ではなく、第三次産業の有業者全体からみた、行動パターンの変化を設定する。これは、テレワークの性質上、テレワークを行う有業者のほとんどが、第三次産業に属することによる。

モデルの母集団を2012年時の第三次産業人口とし、この人口を基準に後述する環境負荷の算出を行う。2012年における第三次産業人口は、総務省統計局の国勢調査¹⁶⁾における2005年の第三次産業人口の全産業に対する割合を、文献¹⁵⁾の2010年の就業者人口に掛け合わせ、3532万人と見積もった。

モデルで扱う行動の分類は、文献¹¹⁾の20分類を用いた。モデルに入力する行動パターンの変化は、在宅勤務の実施による通勤行動の頻度減少を要因とする自由時間の増加であると仮定した。本ケーススタディでは、第三次産業の有業者全体を対象としており、対象集団中の在宅勤務者の増加は全体から見ると通勤行動時間の減少と見ることができると。対象集団に対する総減少時間は、在宅勤務者数と頻度、そして文献¹¹⁾から得た平均通勤時間（文献¹¹⁾の統計表における有業者の通勤時間を仮定する）から、算出可能である。これを第三次産業人口全体で除し、第三次産業一人あたりの自由時間増加量を0.05時間と設定した。

先験行動確率分布の設定を表3に示す。行動の総数は20であるため、モデル式では、 $n=20$ となる。テレワークの拡大があったとしても、本質的に仕事を行う時間の長さは

変わらないと考えられるため、仕事行動（ $i=5$ ）の確率は前後で不変であるとした。また、同様の理由で受診・診療行動（ $i=19$ ）も不変とした。行動ごとの環境負荷を設定しなかったボランティア活動・社会参加活動（ $i=17$ ）も考慮の範囲外とし、不変とした。

モデルには、行動の単位時間あたりの消費金額データが必要である。第三次産業有業者の行動に対する平均的支出データは入手困難であった。そのため、家計調査年報¹⁷⁾を用いて推計を行った。具体的には、全国平均の家計支出の品目全てを行動と対応付け、ある行動に対応付けした品目の家計支出の合計金額をその行動への支出とした。例えば、通勤行動への支出は、文献¹⁷⁾に記載されている「交通」品目の中の「鉄道通勤定期代」、「バス通勤定期代」などを対応付けた。自動車による通勤は自動車移動の20%と仮定し、「自動車等関係費」から配分した。その他、「衣料品」などすべての行動に関係すると思われる品目の費用は、全ての行動に等配分した。以上のような対応付け・配分を行うことで、行動に関する個人の年間消費金額を設定した。続いて、（単位時間当たりの行動費用）＝（行動に関する個人の年間消費金額）／（個人の年間行動時間）として、単位時間当たりの各行動の費用を算出した。個人の年間行動時間は、文献¹¹⁾にある有業者の行動時間から算出した。このようにして、表3に示す時間あたり行動費用を定めた。この消費金額の設定では、家計の収入は全て有業者が得ており、なおかつその使い道を有業者が決定していると仮定した。

表3 初期データの設定

番号	行動	先験行動確率	行動時間(h)	一時間あたり・個人あたり行動費用(円/h)
1	睡眠	0.305	7.33	8
2	身の回りの用事	0.048	1.15	109
3	食事	0.065	1.55	512
4	通勤・通学	0.035	0.85	132
5	仕事	0.294	7.06	7
6	学業	0.006	0.13	1199
7	家事	0.040	0.97	217
8	介護・看護	0.001	0.03	1535
9	育児	0.004	0.10	529
10	買い物	0.010	0.25	192
11	移動(通勤通学を除く)	0.017	0.42	763
12	テレビ・ラジオ・新聞・雑誌	0.079	1.90	64
13	休養・くつろぎ	0.044	1.05	118
14	学習・研究(学業以外)	0.005	0.12	631
15	趣味・娯楽	0.017	0.40	662
16	スポーツ	0.004	0.10	712
17	ボランティア活動・社会参加活動	0.001	0.03	1441
18	交際・付き合い	0.013	0.32	960
19	受診・療養	0.003	0.07	2783
20	その他	0.007	0.17	688
	総計	1.000	24.00	

4.3 行動原単位

行動の時間あたりCO₂排出量は、エネルギー・経済統計要覧¹⁸⁾にある家庭及び業務部門（業種別）の用途別（冷房、暖房、給湯、動力、その他）エネルギー消費量から算出した。行動が行われる場所と、行動に応じて考えられる用途のエネルギー消費量を積上げ、年間の延べ行動時間で除して算出した。年間の延べ行動時間を算出するために、行動が行われる場所における行動人数として、2000年の平均世帯人数である2.67人（家庭の場合）を採用し、家庭以外の場所における行動人数に関しては2000年の日本の総人口を用いた（どちらも国立社会保障・人口問題研究所による推定¹⁹⁾）。

移動行動に関しては、文献¹⁸⁾の交通部門の一人あたりの輸送機関別・単位輸送量あたりエネルギー消費原単位を以下に示す方法で変換して行動原単位とした。まず、各輸送手段（自動車、バス、鉄道）の平均旅行速度を掛け合わせて、時間あたりのエネルギー消費量を導出した。続いて、自動車、バスに関してはガソリン、軽油、LPGの比率を文献¹⁸⁾の自動車保代数の比率から算出し、筆者らが開発した2000年版産業連関表による環境負荷原単位²⁰⁾の算出に用いた各燃料種の排出係数をそれぞれ掛け合わせ、原単位を算出した。鉄道に関しては電力の消費であると見なし、電力換算して原単位を算出した。平均旅行速度に関しては、文献⁷⁾にならい、国土交通省の道路交通センサス²¹⁾と東京都交通局のウェブサイト²²⁾より参照した。趣味・娯楽及びスポーツ行動に関しては、レジャー白書²³⁾による消費金額データと環境負荷原単位²⁰⁾を用いた。本ケーススタディで主効果と設定した削減効果に、ネットワークや

PC利用によるCO₂排出が含まれていることから、仕事行動に関する環境負荷に関しては主効果に含まれるものとし、原単位を算出していない。また、通勤行動に関しても主効果として、文献¹⁴⁾で算出されているため、原単位としては考慮しない。また、ボランティア行動に関しては、内容が不明確であるので原単位を設定していない。

4.4 結果

表4には推定行動確率と推定行動確率を示す。また、図2に各行動の行動時間の増加量を示す。通勤時間が減っただけ各行動の行動時間は増加している。通勤時間の減少分のほとんどの時間は睡眠時間に割り振られている。図3に時間の増加割合（推定行動確率/先験行動確率）を示す。図2の増加時間と比較すると、睡眠の増加割合が最も大きいことには変わりはないが、身の回りの用事、テレビ・ラジオ・新聞・雑誌といった行動の時間増加割合が睡眠と同様に大きい。これは、初期値（表3）として与えた先験行動確率や制約式の影響が増加時間量の結果（図2）として表れ、エントロピー原理による行動選択の影響が示されているといえる。

シナリオによる行動パターン変化前後の行動時間（表3、4）と行動原単位を掛け合わせて年間の一人当たりのリバウンド効果を算出し、これと第三次産業人口を掛け日本全体のリバウンド効果の算出を行う。また、前述の通り、文献¹⁴⁾では、本シナリオの場合のテレワークに関するCO₂排出量の年間削減量が630,000t-CO₂と記載されている。この削減量を主効果と見なすと、シナリオによる正味のCO₂排出削減量も以下のように算出できる。

表4 推定行動確率と推定行動時間

番号	行動	推定行動確率	行動時間(h)
1	睡眠	0.306	7.35
2	身の回りの用事	0.048	1.16
3	食事	0.065	1.56
4	通勤・通学	0.033	0.80
5	仕事	0.294	7.06
6	学業	0.006	0.13
7	家事	0.040	0.97
8	介護・看護	0.001	0.03
9	育児	0.004	0.10
10	買い物	0.010	0.25
11	移動(通勤通学を除く)	0.017	0.42
12	テレビ・ラジオ・新聞・雑誌	0.080	1.91
13	休養・くつろぎ	0.044	1.05
14	学習・研究(学業以外)	0.005	0.12
15	趣味・娯楽	0.017	0.40
16	スポーツ	0.004	0.10
17	ボランティア活動・社会参加活動	0.001	0.03
18	交際・付き合い	0.013	0.32
19	受診・療養	0.003	0.07
20	その他	0.007	0.17
総計		1.000	24.00

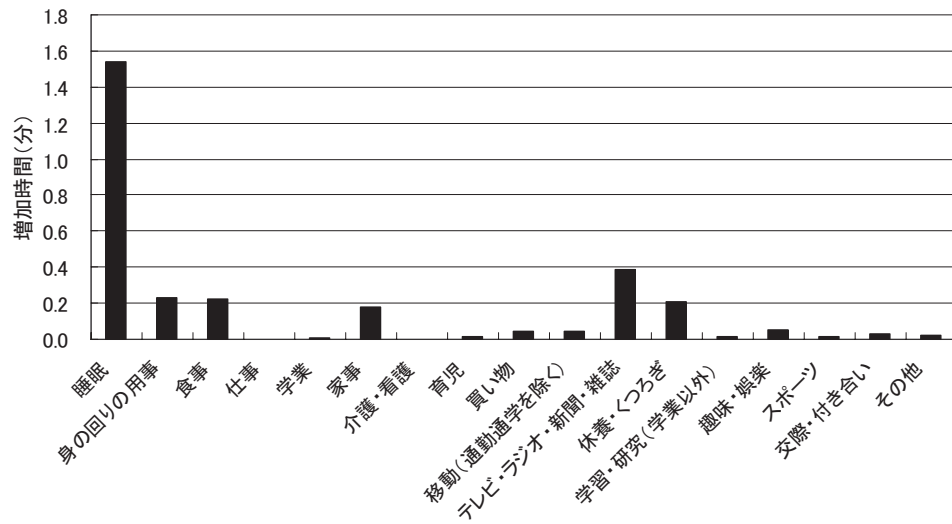


図2 各行動の増加時間

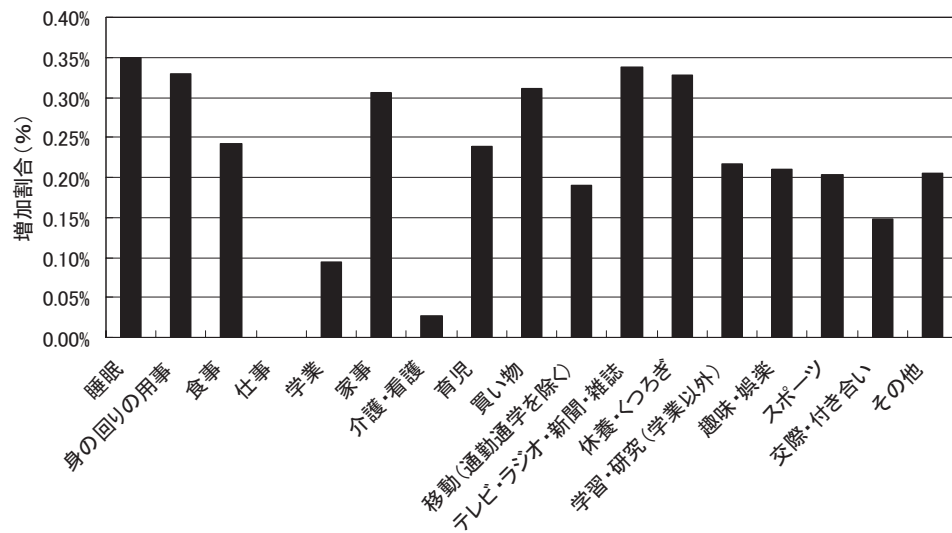


図3 各行動の時間増加割合

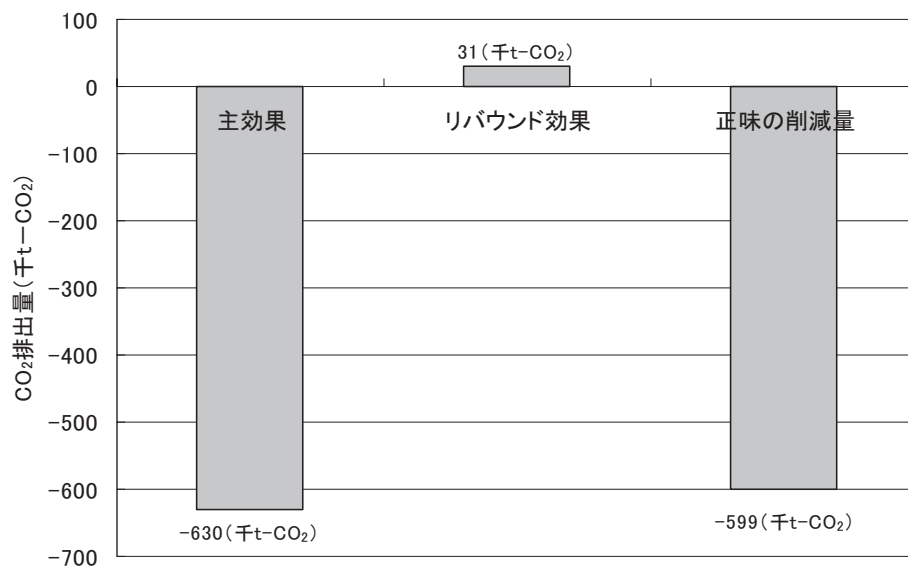


図4 主効果とリバウンド効果

$$\begin{aligned}
 & (\text{シナリオによる正味のCO}_2\text{排出削減量}) = \\
 & \quad (\text{主効果によるCO}_2\text{排出削減量}) \\
 & \quad - (\text{リバウンド効果によるCO}_2\text{排出増加量}) \quad (10)
 \end{aligned}$$

図4に、主効果と推定したリバウンド効果を示す。在宅勤務が増加することにより、睡眠以外の行動、主に、身の回りの用事、食事、テレビ・ラジオ・新聞・雑誌、休養・くつろぎの行動時間が増加しているため、それに起因したリバウンド効果が見られる(30,845t-CO₂)。(10)式に従って計算したリバウンド効果を含んだ正味のCO₂排出削減量は599,155t-CO₂である。結論として、4.9%のリバウンド効果が見込まれるものの、本ケーススタディの設定で総合的に見ると、テレワークはCO₂排出削減に大きく貢献することができる。

5. 考察

5.1 ケーススタディの結果に関する考察

提案モデルによる行動パターンの推定結果について考察する。本ケーススタディのシナリオに完全に一致するような既存研究は見当たらないため、ここでは本シナリオに類似する設定の文献²⁴⁾と比較した。この文献では、首都圏におけるテレワーカーに対し、インターネット上でのアンケートを実施し(サンプル数500)テレワークをすることによる生活時間の変化を調査している。アンケートによると、通勤時間は往復で約45.6分減少し、その削減時間は主に睡眠(22分増加)、家事・育児(11.8分増加)、娯楽・レジャー(9.5分増加)等に割り振られている。この結果から、テレワークの導入で、自由時間が増えても環境負荷の比較的低い行動が増加しているため、負荷を増大させるようなリバウンド効果は無い、と説明されている。本研究のケーススタディでは、第三次産業の有業者全体を母集団としているため、時間変化は小さいが、睡眠時間が最も増加していることは文献²⁴⁾と一致している。ただし、育児の時間変化はケーススタディでは小さく、文献²⁴⁾と異なった結果となっている。この要因として、本提案モデルは時間と所得を制約として考慮しているが、通勤行動の発生時刻に関する状況(朝・夕に通勤行動をしないで子供の送り迎えなど育児行動を行う等)は加味していないことが考えられる。また、テレワークは通勤時間が長い勤務者ほど行われやすい傾向があることも考えられるため、例えば、通勤時間が長い集団と短い集団などに分けて、モデルを適用するなどの方法も考えられる。行動発生時の状況を考慮することは今後の課題である。

5.2 消費者行動モデルに関する考察

5.2.1 提案モデルに関する考察

提案モデルでは、それまでの生活習慣をベースとしてい

るため、変化前の行動パターンで行動時間の長い行動が、結果として変化後も長い行動時間と推定される傾向がある。これは、シナリオによって明示的に変化が示される行動を除き、極端な行動パターンの変化はないであろうということの意味する。例えば、「モーダルシフト」というシナリオでは、交通手段のシフトは他の行動時間を多少変化させることはあっても、その行動パターンを大幅に変化させるような変化(例えば睡眠時間が半分になり、家事時間が2倍になる、など)はないであろうということである。本研究のケーススタディ結果でいえば睡眠行動の変動が大きいという結果に相当する。ケーススタディの場合では、通勤行動の代替として睡眠を行うことは十分に考えられたため、睡眠行動も変数として扱った。しかし、睡眠、仕事など行動時間の比率が高い行動は、あらかじめ固定するなど、モデルによる推定問題から外すことも必要と思われる。なお、睡眠行動を固定した場合は、本来睡眠行動へ割り振られるはずであった時間が他の行動に転じ、リバウンド効果は大きくなる傾向になることを確認している。

また、リバウンド効果の制限要因として時間、コスト、スキル、空間、資源、情報の要素^{25, 26)}があると言われている。これまでに述べてきた通り、提案モデルではこのうち時間とコストの2要素のみを扱っていることになる。また、前節で述べたように、状況の考慮も必要になる場合もある。他のモデルの併用や、提案モデルの拡張など、何らかの形でこれらを考慮していくことは今後の課題である。

5.2.2 経済学的手法を用いたモデルとの比較

リバウンド効果推定を目的とした消費者行動モデルとして、先述したように文献⁷⁾に述べられている経済学的なモデルがある。本研究で提案するモデルとの相違点について、以下に述べる。

文献⁷⁾では、モデルの2つの特徴として、先述した時間及び費用制約下での効用最大化に基づく点と、消費者の行動を「消費技術」の稼働と見る点を挙げている。文献⁷⁾では、目的のある「消費活動」を行うための財の組み合わせを「消費技術」と定義づけ、各行動への時間や費用の配分を算出している。これは、行動を要する財の組み合わせとして捉え、その財から効用が得られるという考え方であり、原理として掲げている効用最大化原理に根ざしている。

一方、提案モデルでは、文献⁷⁾と同様に時間及び費用制約を加味するが、人間は制約下で最大限自由に行動するという、エントロピー原理を仮定している。モデルでは、行動の時間比率、つまり発生確率に着目しており、効用は考慮していない。

以上に挙げたように、各モデルでは、扱う人間集団の行動原理の仮定と、それに伴う個々の行動の扱い方が異なっ

ている。効用を最大化するという合理的な側面と、習慣に基づいて自由行動する必ずしも合理的ではない側面をそれぞれ強調したモデルとなっている。現実的な人間行動は、その中間的なものと考えられるが、その意味で、提案モデルには意義があると考えられる。

6. おわりに

本研究では、エントロピー原理に基づくリバウンド効果推定手法を提案した。テレワークによるケーススタディにより、提案手法によってリバウンド効果を実際に推定可能であることを示した。提案手法には、統計データの活用が容易である点及び、効用関数を導入することなく対象集団の生活習慣を反映できるという利点がある。一方、現段階では、製品サービス使用時の状況や、スキル、空間、資源、情報などの要素を扱うことができない。今後は、これらの要素を加味することや、様々な立場に基づいたリバウンド効果推定手法との詳細な比較評価が必要と考える。

謝辞

本論文の執筆にあたり、二人の査読者より有益な助言・コメントを頂いた。ここに御礼申し上げる。

(平成20年4月27日受付、平成20年11月11日採択)

参考文献

- 1) 国連環境計画(UNEP): “持続可能な生産と消費”, 国連環境計画(UNEP), (オンライン), 入手先 <<http://www.unep.or.jp/japanese/spc/index.asp>>, (参照 2008-4-16)
- 2) 山本良一, “戦略環境経営 エコデザイン—ベストプラクティス 100”, ダイアモンド社, 渋谷, (1999)
- 3) Lorna A. Greening, David L. Greene, Carmen Difiglio: Energy Policy, 28, (2000), pp.389-401
- 4) M. Jalas: Journal of Ecological Economics, 41, (2002), pp.109-123
- 5) 南波泰昌, 田原聖隆, 小澤寿輔, 稲葉敦, 茂呂端生: “日本 LCA 学会”, 東京, (2006), pp.126-127
- 6) Takahashi, K.I., H. Tatemichi, T. Tanaka, S. Nishi, T. Kunioka: “IEEE ISEE”, Scottsdale, (2004), pp.13-16
- 7) 高瀬浩二, 近藤康之, 鷺津明由: 日本 LCA 学会誌, 2, (1), (2006), pp.48-55
- 8) Daniel Kahneman, Amos Tversky: Econometrica, 40, (1979), pp.263-291
- 9) Herbert A. Simon, “The Sciences of the Artificial”, MIT Press, (1996)
- 10) Leon G. Schiffman, Leslie Lazar Kanuk, “Consumer Behavior”, Pearson, New Jersey, (2006)
- 11) 総務省統計局: “平成 13 年社会生活基本調査”, 統計局ホームページ, (オンライン), 入手先 <<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2001/index.htm>>, (参照 2008-4-16)
- 12) J.N. Kapur, H.K. Kesavan, “Entropy Optimization Principles with Applications”, Academic PRESS, INC., Boston, (1992), pp.151-203
- 13) 松野泰也ら, IT 社会を環境で測る —グリーン IT—, 産業環境管理協会, 東京, (2007), pp.147-148
- 14) 総務省: “「地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会」報告書”, (2008)
- 15) 国土交通省都市・地域整備局大都市圏整備課: “平成 15 年度テレワーク普及啓発事業 = テレワークによる効果の把握に関する調査研究報告書 =”, (2006), pp.19-24
- 16) 総務省統計局: “平成 17 年国勢調査”, 統計局ホームページ, (オンライン), 入手先 <<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm>>, (参照 2008-4-16)
- 17) 総務省統計局: “平成 17 年家計調査年報”, 統計局ホームページ, (オンライン), 入手先 <<http://www.stat.go.jp/data/kakei/2005np/index.htm>>, (参照 2008-4-16)
- 18) 財団法人日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット, “エネルギー・経済統計要覧”, (2007), pp.85-120
- 19) 国立社会保障・人口問題研究所: “一般人口統計”, 国立社会保障・人口問題研究所, (オンライン), 入手先 <<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/Popular.asp?chap=0>>, (参照 2008-4-16)
- 20) Y. Kobayashi et. al.: Int. J. Environmental Technology and Management, 7(5), (2007), pp.694-733
- 21) 国土交通省道路局: “道路交通センサス”, 国土交通省ホームページ, (オンライン), 入手先 <<http://www.mlit.go.jp/road/census/index.html>>, (参照 2008-7-21)
- 22) 東京都交通局: “サービスの概要”, 東京都交通局ホームページ, (オンライン), 入手先 <<http://www.kotsu.metro.tokyo.jp/information/service/subway.html>>, (参照 2008-7-21)
- 23) 財団法人社会経済生産性本部, “レジャー白書 2005”, 財団法人社会経済生産性本部, (2005)
- 24) 中野浩介, 三浦裕志: “EcoDesign2002 ジャパンシンポジウム”, 東京, (2002), pp.22-25
- 25) 小澤寿輔, 稲葉敦: 日本 LCA 学会誌, 3(3), (2007), pp.144-149
- 26) Roger C. Mannell, Douglas A. Kleiber, “A social Psychology of Leisure”, (1997)